

0-794201

На правах рукописи

Веденькин

ВЕДЕНЬКИН ДЕНИС АНДРЕЕВИЧ

**СФОКУСИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ В СОСТАВЕ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ГРУППЫ МАЛОРАЗМЕРНЫХ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Специальность: 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Казань 2012

Работа выполнена на кафедре Радиозлектронных и телекоммуникационных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Научный руководитель:

Доктор техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан, Седельников Юрий Евгеньевич

Официальные оппоненты:

Пономарев Леонид Иванович, доктор техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры 406

Анфиногентов Владимир Иванович, доктор техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», профессор кафедры СМ

Ведущая организация:

ФГУП «Калужский научно-исследовательский радиотехнический институт» (КНИРТИ)

Защита диссертации состоится «6» апреля 2012 года в 16:00 часов на заседании диссертационного Совета Д212.079.04 при Казанском Национальном исследовательском техническом университете имени А.Н. Туполева (КАИ) по адресу: г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 31/7, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева-КАИ.

Отзыв на автореферат, в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации, прошу выслать по адресу: 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10, КНИТУ-КАИ, ученому секретарю диссертационного Совета Д212.079.04 доценту Седову С.С.

Автореферат разослан « 3 » марта 2012 г.

Ученый секретарь

Диссертационного Совет

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ

Седов. С.С.



0000792704

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Научно-технический прогресс обеспечивает быстрые темпы развития техники и расширение ее возможностей, но подавляющее число современных технических систем продолжают быть ориентированными на человека, как ключевое звено в управлении этими системами, несмотря на все составляющие «человеческого фактора». Дальнейшее развитие техники будет требовать переосмысление роли человека, особенно остро эта проблема будет проявляться в тех человеко-машинных системах, в которых человек выполняет функцию на пределе своих физиологических возможностей. Выход, в частности в авиации, найден в переходе к беспилотным авиационным системам (БАС), позволяющим решать различные задачи в условиях, при которых применение пилотируемой авиации нецелесообразно.

Из всего многообразия БАС необходимо выделить использование малоразмерных аппаратов, способных ввиду малых размеров, высокой маневренности и возможности старта с небольшого пускового устройства или даже с руки выполнять свои функции на территории со сложным рельефом. Круг решаемых ими задач ограничен низкой энерговооруженностью, малой продолжительностью полета, ощутимому влиянию окружающей среды и сложностью компоновочных решений. Традиционным для подобных БАС было использование их на уровне тактического звена – ведение наблюдения и разведки.

В последние годы начинают предлагаться новые варианты применения малоразмерных БАС в основе которых лежит концепция сетецентризма. Возможность объединения отдельных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в едином информационном пространстве позволяет расширить сферу их применения и ставить перед организованной группой малоразмерных БЛА новые задачи: повышение потенциала связи БЛА, ведение радиоэлектронной борьбы, пеленгацию источников радиоизлучения и даже выполнение ударных функций. Потенциал в решении этих задач определяется новыми качествами, приобретенными с организацией отдельных БЛА в боевую робототехническую группировку.

Идея группового применения малоразмерных БЛА для организации радиосвязи в дальней зоне предложена Ramu S. Chandra, S.H. Breheny, R. D'Andrea. Однако для многих перспективных применений размеры антенной решетки (АР), образованной антеннами отдельных аппаратов, могут достигать нескольких сотен метров и более! Это означает, что в

значительном диапазоне дальностей следует рассматривать работу этих решеток в зоне Френеля и новые качества, вытекающие из этого обстоятельства подлежат обязательному изучению. Основная возможность, которую «приобретает» АР в зоне Френеля – возможность фокусировки в некоторую область пространства на удалении от апертуры, соизмеримое с ее размерами.

Таким образом исследование свойств разреженных антенных решеток различных типов, сфокусированных в зоне Френеля и выработка на их основе предложений по практической реализации систем, использующих принцип сфокусированной апертуры является актуальной задачей.

Целью работы является повышение эффективности радиоэлектронных средств малоразмерной беспилотной авиационной техники группового применения.

Основная задача заключается в исследовании свойств сфокусированных антенных решеток, образованных радиосредствами группы БЛА и выработка на их основе практических рекомендаций и предложений по практическому применению.

Решение основной задачи требует рассмотрения ряда более частных взаимосвязанных задач:

1. разработки математической модели антенной решетки, образованной радиотехническими средствами группы БЛА и критериев качества применительно к задачам радиосвязи в типовых условиях применения групп БЛА;
2. на основании разработанной модели и предложенных критериев получение оценок качества когерентной антенной решетки в зависимости от ее параметров и положения точки фокусировки, в том числе с учетом влияния дестабилизирующих факторов;
3. разработки модели некогерентной антенной решетки, образованной радиотехническими средствами группы БЛА и получение оценок ее основных параметров;
4. выработки рекомендаций по построению и практическому применению сфокусированных антенных решеток в задачах радиосвязи и радиоэлектронной борьбы.

Предметом исследования являются свойства разреженных антенных решеток, сфокусированных в зоне Френеля.



Объектом исследования является антенная система, образованная радиосредствами беспилотных летательных аппаратов группового применения.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использованы элементы теории антенных решеток, методы математического моделирования, элементы теории вероятности и математической статистики. Численное моделирование проводилось в среде MathCAD 14.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые:

1. предложены и сформулированы параметры разреженных антенных решеток сфокусированных в зоне Френеля;
2. определены количественные значения этих параметров для «детерминированной» и случайной разреженной когерентной антенной решетки в зависимости от числа элементов, длины волны, размеров решетки и расстояния до точки фокусировки;
3. получены количественные оценки значений параметров некогерентной разреженной случайной антенной решетки, сфокусированной в зоне Френеля;
4. выработан ряд рекомендаций по построению и практическому применению в составе аппаратуры группы беспилотных летательных аппаратов и предложены новые технические решения.

Практическая ценность диссертации.

Полученные в работе результаты позволяют повысить эффективность группового применения БЛА в составе перспективных комплексов, в том числе радиоэлектронной борьбы и ударных средств за счет повышения потенциала радиосвязи, улучшения показателей скрытности и помехозащищенности радиолиний и могут быть рекомендованы к использованию при проектировании радиотехнических средств беспилотных авиационных комплексов нового поколения.

На защиту выносятся:

1. применение случайных разреженных антенных решеток, сфокусированных в зоне Френеля для повышения эффективности радиосредств беспилотной авиационной техники;
2. свойства когерентных и некогерентных антенных решеток, сфокусированных в зоне Френеля;

3. оценки возможностей реализации сфокусированных антенных решеток в составе радиосредств БЛА группового применения, включая построение переизлучающих решеток, оценку влияния дестабилизирующих факторов и погрешностей определения координат излучателей на возможность и эффективность фокусировки;

4. варианты практического применения случайных разреженных антенных решеток сфокусированных в зоне Френеля.

Личный вклад автора заключается в аналитическом обзоре литературы по тематике проведенных исследований, постановке и решении диссертационных задач, в создании математической модели, исследовании свойств изучаемых случайных разреженных антенных решеток, сфокусированных в зоне Френеля с соответствующими выводами и предложении вариантов практического применения случайных разреженных антенных решеток.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XIV международной молодежной научной конференции «Туполевские чтения» (Казань, 2006), XVI международной молодежной научной конференции «Туполевские чтения» (Казань, 2008), XVII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь – 2011» (Воронеж, 2011), XII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Казань, 2011).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 10 работах. В их числе 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, 1 – патент РФ на полезную модель, 1 – положительное решение по патентной заявке, 2 - журнальные статьи, тезисы и материалы научно-технических конференций.

Использование результатов диссертации. Результаты диссертации в виде методик, рекомендаций и количественных оценок использованы в работах ООО «ОКБ Сокол», в том числе по теме «Зеница», научно-исследовательской работе, выполняемой в рамках Договора о сотрудничестве КНИТУ-КАИ и ООО «ОКБ Сокол», а также в учебном процессе КНИТУ-КАИ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 108 рисунков и 8 таблиц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 99 наименований и 3 приложений на 3 страницах.

Во введении дан краткий обзор современного состояния беспилотных авиационных комплексов, отмечены тенденции их развития. Имеющиеся данные свидетельствуют о перспективности дальнейшего развития беспилотных средств с функциями разведки, в том числе радиотехнической, радиоэлектронной борьбы, ударных функций. В числе перспективных направлений – групповое использование малоразмерных аппаратов, что выдвигает в число актуальных задачи совершенствования радиоэлектронных средств, создаваемых с учетом специфики группового применения БЛА. Обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе рассмотрены некоторые задачи и особенности группового применения БЛА для ряда характерных задач: воздушного наблюдения, ведения радиотехнической разведки, постановки помех. Использование в этих целях сфокусированных антенных решеток, образованных радиосредствами БЛА группы позволяет повысить потенциал связи радиолинии БЛА – пункт управления, осуществить пеленгацию источника излучений, а также повысить эффективность радиоподавления за счет создания помех, прицельных по трем пространственным координатам.

В главе приведен краткий обзор свойств сфокусированных антенн и работ, содержащих данные исследований в области сфокусированных антенн. Выявлены основные отличия рассматриваемых антенных решеток от известных. Наиболее существенными из них являются случайная геометрия решетки и сильно разреженный ее характер. Показано, что традиционные параметры, используемые для описания излучающих свойств антенн, недостаточно характеризуют качественные свойства полей, сфокусированных случайными разреженными антенными решетками. С учетом специфики использования указанных решеток в составе комплексов группового применения введены показатели, отражающие свойства формируемых электромагнитных полей:

1. Энергетический выигрыш – как величина аналогичная КНД традиционной решетки и характеризующая повышение напряженности

поля в точке фокусировки по сравнению с одиночным ненаправленным излучателем, располагающимся в центре решетки, при равной суммарной излученной мощности

$$K_{эфф} = \frac{E_{фок}(x_{\phi}, y_{\phi})}{E_0(x_{\phi}, y_{\phi})} \quad (1)$$

2. Размеры области фокусировки. Поскольку форма области фокусировки в целом оказывается близка к эллипсу, ее размеры оценивают в двух направлениях - продольном и поперечном. По аналогии с диаграммой направленности антенны продольный и поперечный размеры области фокусировки определяются по уровню 0,707 от максимального значения напряженности поля в точке фокусировки.

3. Продольная скрытность излучения. Вводится для оценки снижения напряженности электромагнитного поля создаваемого случайной разреженной антенной решеткой в направлении от решетки за пределами области фокусировки по сравнению с одиночным излучателем на интервале расстояний $[y_{\phi}; y_{\phi} + R_{\max}]$

$$K_{нс} = \frac{\int_{y_{\phi}}^{y_{\phi} + R_{\max}} |E_0(0, y)| dy}{\int_{y_{\phi}}^{y_{\phi} + R_{\max}} |E_{фок}(0, y)| dy} \quad (2)$$

4. Угловая скрытность излучения. Вводится аналогичным образом для оценки уменьшения напряженности электромагнитного поля создаваемого случайной разреженной антенной решеткой за пределами точки фокусировки по сравнению с одиночным излучателем на расстоянии R_{ϕ} в секторе углов $[\alpha; 2\pi - \alpha]$, где α - направление на границу области фокусировки.

5. Коэффициент прямоугольности. Данный параметр характеризует равномерность электромагнитного поля в области фокусировки.

Вторая глава посвящена изучению свойств случайных разреженных когерентных антенных решеток сфокусированных в зоне Френеля. Показано, что с учетом ряда принятых допущений пространственное распределение напряженности поля при фиксированной суммарной

мощности излучения $\sum_{n=1}^N |I_n|^2 = P_\Sigma = 1$ можно представить в виде

$$\vec{E}(\vec{R}) = \sum_{n=1}^N \dot{I}_n \vec{e}_n(\vec{R}_n), \quad (3)$$

где \dot{I}_n - комплексные амплитуды токов возбуждения элементов решетки;

$\vec{e}_n(\vec{R}_n)$ - парциальное распределение напряженности поля излучения n-го элемента при единичной излучаемой мощности;

$\vec{R}, \vec{R}_n, \vec{r}_n$ - вектора, характеризующие пространственное положение излучателей и точки наблюдения.

Для наиболее естественного случая, когда мощности излучения каждого из элементов считаются равными оптимальная фокусировка в точку \vec{R} соответствует сопряженному значению фазы электромагнитного поля в точке \vec{R}_n излученного изотропным излучателем, расположенным в

$$\text{точке фокусировки } \arg(\dot{I}_n) = \frac{\vec{e}_n^*(\vec{R}_n)}{|e_n(\vec{R}_n)|}.$$

Рассмотрены варианты сфокусированных антенных решеток, соответствующих полету БЛА строем и «роем», т.е. при детерминированном и случайном пространственном расположении элементов в пределах некоторой области пространства. С целью оценки основных характеристик, введенных в главе 1 в зависимости от числа излучателей, размеров апертуры и расстояния до точки фокусировки. Оценки проводились путем постановки серии вычислительных экспериментов с последующей обработкой их результатов, включая оценки доверительных интервалов. При проведении расчетов использована модель решетки (3) при исходных данных, характерных для перспективных задач группового применения малоразмерных БЛА:

1. Количество элементов – до 30;
2. Максимальный размер области расположения элементов – до 2 км;
3. Длина волны $\lambda_1 = 2.5$ м., $\lambda_2 = 0.25$ м., $\lambda_3 = 0.025$ м.;
4. Расстояние до точки фокусировки R_ϕ 10, 30, 50, 70, 90 км.

Моделирование проводилось в несколько этапов:

1. Исследование детерминированной решетки;
2. Исследование случайной решетки с постоянным угловым шагом и переменным расстоянием от центра до излучателя (квазислучайная решетка первого рода);
3. Исследование случайной решетки с постоянным расстоянием от излучателя до центра и случайным угловым положением (квазислучайная решетка второго рода);
4. Исследование случайной антенной решетки со случайным угловым шагом и случайным расстоянием от центра решетки до излучателя;
5. Исследование влияния погрешностей определения координат излучателей.

В результате моделирования получены количественные оценки основных параметров разреженных когерентных решеток, сфокусированных в зоне Френеля. Установлено, что при размерах апертуры до 2 км, расстояниях до точки фокусировки от 10 до 90 км, числе излучателей равным до 30 и длинах волны 2,5м., 0,25м., 0,025м. исследуемые параметры зависят и изменяются следующим образом:

1. энергетический выигрыш зависит преимущественно от числа излучателей, и численно равен по напряженности \sqrt{n} ;
2. поперечный и продольный размер области фокусировки, нормированные к длине волны изменяются в пределах [10, 60] и [200, 100000] соответственно. Размеры зависят преимущественно от соотношения расстояния до точки фокусировки R_ϕ и максимального размера антенны $R_{ант}$, при увеличении $R_\phi/R_{ант}$ продольные и поперечные размеры увеличиваются;
3. коэффициент продольной скрытности лежит в пределах [1,5; 5.4], увеличивается с увеличением количества излучателей, но с увеличением длины волны и $R_\phi/R_{ант}$ уменьшается;
4. коэффициент угловой скрытности слабо зависит от длины волны, соотношения $R_\phi/R_{ант}$ и лежит в пределах [4,8; 5.35], но возрастает с увеличением числа излучателей;
5. коэффициент прямоугольности практически не зависит от числа излучателей, длины волны и соотношения $R_\phi/R_{ант}$ и лежит в пределах [0.1; 0.35]. При этом наиболее частое значение, принимаемое

коэффициентом прямоугольности составляет порядка 0.3;

6. погрешность определения координат излучателей не должна превышать 0.25λ .

Третья глава посвящена исследованию свойств случайных разреженных некогерентных сфокусированных антенных решеток. Принцип действия некогерентной антенной решетки состоит в следующем. В режиме передачи отдельные элементы антенной решетки излучают радиосигналы в виде коротких импульсов $f(t)$ в различные моменты времени. Характерным примером может служить РЛС с ударным возбуждением антенны. Излучаемый сигнал представляет собой аperiodический колебательный процесс в виде нескольких периодов резонансной частоты антенны с быстро убывающей амплитудой. Временная расстановка излучаемых импульсов выполнена таким образом, чтобы в заданной точке (x_ϕ, y_ϕ) - точке фокусировки, происходило одновременное воздействие всех излученных сигналов.

Пиковое значение напряженности поля в произвольной точке с координатами (x, y) при единичных амплитудах излученных сигналов с точностью до постоянной равно:

$$E(x, y) = \max_i \sqrt{\frac{c \sum_{i=1}^N f^2 [t - R_i(x, y) + R_i(x_\phi, y_\phi)]}{R_i^2(x, y)}} \quad (4)$$

Аналогично случаям когерентной решетки проведен количественный анализ основных показателей, введенных в главе 1. Анализ осуществлен путем численного моделирования на основе модели (4). Проведенное моделирование некогерентных сфокусированных антенных решеток включало следующие этапы:

1. Моделирование линейной некогерентной антенной решетки;
2. Моделирование плоской антенной решетки;
3. Анализ влияния погрешности определения координат излучателей на параметры некогерентной сфокусированной антенной решетки.

Установлено, что при дальностях до точки фокусировки до 5 км., длине линейной антенной решетки L_{ant} до 2 км, длительности импульса 3нс и числом излучателей равным 9 исследуемые параметры изменяются следующим образом:

1. Поперечный размер области фокусировки изменяется в пределах от 14 до 700 метров и зависит от длительности импульса и соотношения $R_{\phi} / L_{\text{ант}}$.

2. Продольный размер области фокусировки изменяется в пределах от 35 до 14100 м. и зависит от длительности импульса и соотношения $R_{\phi} / L_{\text{ант}}$.

При моделировании случайной разреженной плоской антенной решетки с размером до 2 км., расстоянием до точки фокусировки до 950 м, длительностью импульса 3нс и количеством излучателей равным 9 были получены следующие результаты:

1. Поперечный размер области фокусировки изменяется в пределах от 14 до 1656 м, и зависит от длительности импульса, соотношения $R_{\phi} / R_{\text{ант}}$ и близости точки фокусировки к излучателю антенной решетки.

2. Продольный размер области фокусировки изменяется в пределах от 12 до 444 м, и зависит от длительности импульса, соотношения $R_{\phi} / R_{\text{ант}}$ и близости точки фокусировки к излучателю антенной решетки.

3. Погрешность определения координат излучателя не должна превышать $\pm \frac{\tau_u \cdot c}{2}$.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической реализации и варианты использования разреженных сфокусированных решеток в задачах радиосвязи и радиоэлектронной борьбы. Рассмотрено влияние дестабилизирующих факторов, главным образом неоднородности атмосферы, на степень расфазировки электромагнитных полей. Показано, что для типовых значений длин волн 0.1...1м. и дальностей 10...50 км., для типовых усредненных параметрах тропосферы, флуктуации фазы не ограничивают существенным образом возможности практической реализации рассматриваемых решеток при использовании диапазона длин волн не короче дециметрового.

Не менее существенный вопрос состоит в необходимости обеспечения требуемого фазового управления элементами решетки, причем в условиях непрерывного изменения значений координат излучателей и дальностей до точки фокусировки. Проведенное численное моделирование показало, что в основном, требование к точности определения координат

соответствуют аналогичным, относящимся к параметрам «обычных» решеток, сфокусированных в дальней зоне (т.е. менее половины длины волны). Таким образом, известные решения, основанные на текущем определении координат излучателей с помощью существующих навигационных средств, могут быть успешно реализованы для диапазонов длин волн не короче метрового, или в лучшем случае, верхней части дециметрового.

Наиболее перспективный путь реализации когерентных сфокусированных решеток состоит в использовании принципа активного переизлучения, когда требуемое сопряженное значение фазы излучения каждого из элементов автоматически обеспечивается специальными аппаратными средствами. Рассмотрено несколько вариантов реализации переизлучающих устройств. Проведена оценка реализуемости переизлучающей случайной разреженной когерентной антенной решетки, сфокусированной в зоне Френеля в части оценки допустимого усиления в тракте сопряжения фазы. Показано, что реализация принципа переизлучения возможна при достаточно высоких коэффициентах усиления тракта

$$K < \frac{1.25 \left(\frac{R_{in}}{\lambda} \right)_{cp}}{\sqrt{M}}, \quad (5)$$

где R_{in} - минимальное расстояние между отдельными БЛА группы.

Это означает, что при $R_{in} = 100$ м, $\lambda = 1$ м, $M = 9$ $K < 40$ дБ. При меньших расстояниях или большем усилении необходимо использование других методов, например разделения сигналов либо во времени, либо по частоте.

Получены оценки влияния изменения частоты на эффективность фокусировки. Показано, что при относительном изменении частоты на величину до $\Delta f = 4.48 \cdot 10^{-5}$ относительно номинальной не приводит к существенному ухудшению введенных параметров.

Предложен ряд вариантов использования принципа сфокусированной решетки в различных прикладных задачах.

1. Связь с удаленным наземным или воздушным пунктом управления. Основу составляет принцип активной сфокусированной переизлучающей антенной решетки. Преимущества – увеличение потенциала связи, снижение общего уровня излучений вне требуемого направления и, как

следствие, повышение скрытности действия.

2. Использование некогерентных антенных решеток в задаче двумерной пеленгации источника импульсных излучений. Рассмотрены варианты реализации и даны оценки пеленгационных характеристик в продольном и поперечном направлениях.

3. Использование принципа фокусировки для реализации ложных авиационных целей. Предложен способ построения (Патентная заявка №2011100712. Устройство имитации отраженных сигналов РЛС. //Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Булатов Д.Х. Положительное решение о выдаче патента), разработана структурная схема устройства для имитации отраженных сигналов и алгоритм работы парной ложной цели, приведены оценки функционирования в различных режимах.

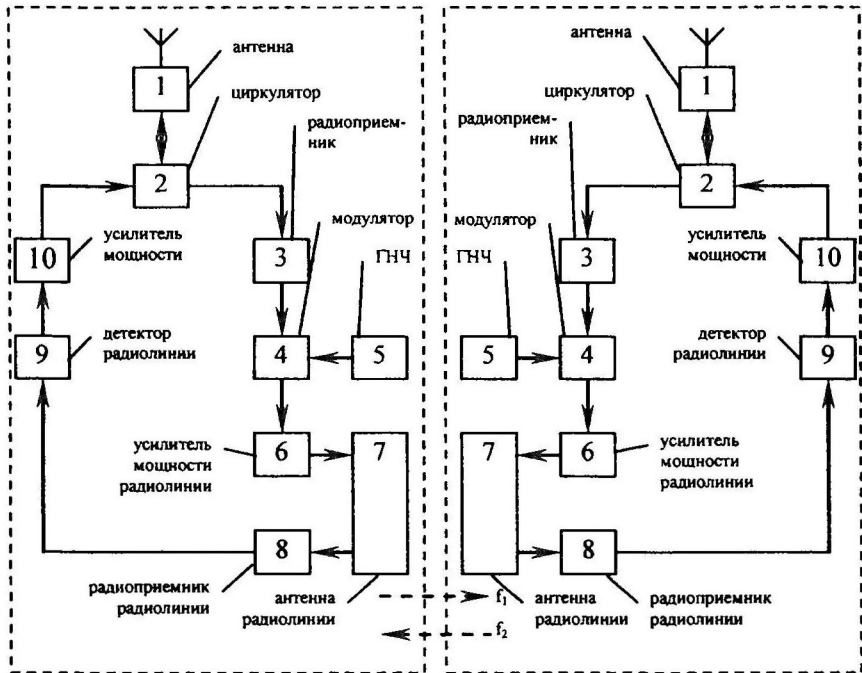


Рис.1. Структурная схема устройства для имитации отраженных сигналов РЛС

4. Система постановки помех. Использование принципа фокусировки позволяет осуществить постановку помех прицельных по трем

пространственным координатам. Предложен вариант (Патент РФ на полезную модель №113019 от 27.01.2012 г. Система постановки помех мобильным пунктам радиосвязи со сверхширокополосными сигналами. //Веденькин Д.А., Седельникова Ю.Е., Васильев С.В.) системы создания помех при групповом применении станций помех, устанавливаемых на малоразмерных беспилотных летательных аппаратах. Разработана структурная схема системы постановки помех мобильным станциям. Разработан алгоритм работы системы. Приведены оценки эффективности системы по сравнению с одиночным излучателем.

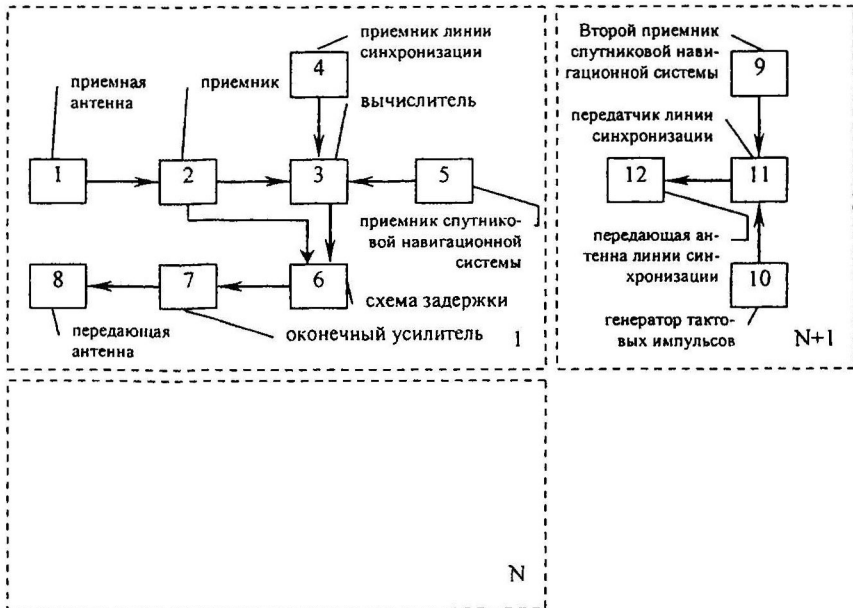


Рис. 2. Структурная схема системы постановки помех мобильным системам радиосвязи со сверхширокополосными сигналами

Закключение

Совокупность результатов работы можно квалифицировать как решение актуальной задачи, исследования свойств сфокусированных антенных решеток, образованных приемопередатчиками группы беспилотных летательных аппаратов и выработку на их основе рекомендаций и предложений по практическому применению.

Основные выводы по работе можно сформулировать в виде следующих положений:

1. Разработана модель антенной решетки, образованной группой малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, как случайная разреженная антенная решетка, сфокусированная в зоне Френеля и сформулированы критерии для оценки ее характеристик применительно к задачам радиосвязи и радиоэлектронной борьбы.

2. На основании разработанной модели и предложенных критериев получены количественные оценки качества разреженной когерентной решетки, в том числе размеров сфокусированной области и показателей скрытности действия в зависимости от числа излучателей, длины волны и геометрических соотношений между размером антенной решетки и дальностью до точки фокусировки. Получены оценки влияния дестабилизирующих факторов, ограничивающие возможность практической реализации.

3. На основании разработанной модели некогерентной антенной решетки, образованной приемопередающими устройствами группы беспилотных летательных аппаратов получены количественные оценки размеров области фокусировки в зависимости от геометрических соотношений и параметров сигнала.

4. Выработаны рекомендации по реализации когерентных и некогерентных решеток в группе беспилотных летательных аппаратов, в том числе в виде активных переизлучающих систем. Предложены новые варианты использования принципа сфокусированной разреженной антенной решетки для задач радиосвязи с группой аппаратов, задач радиоэлектронной борьбы и создания ложных авиационных целей.

Список работ, отражающих основное содержание диссертации

Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК:

1. *Веденькин Д.А.* Сфокусированные антенные решетки для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы, т. №5 (10), 2007г.

2. *Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы, т. №4(11), 2008г.

Работы, опубликованные в других изданиях

3. Система постановки помех мобильным пунктам радиосвязи со сверхширокополосными сигналами //Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Васильев С.В. Патент РФ на полезную модель №113019 от 27.01.2012г.

4. Устройство имитации отраженных сигналов РЛС //Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Булатов Д.Х. Патентная заявка №2011100712. Положительное решение о выдаче патента.

5. Веденькин Д.А. Системы связи с группой беспилотных летательных аппаратов. Электронное приборостроение, №1, Изд. Новое знание, Казань, 2008 г.

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Оценка возможности реализации СФАР, использующей принцип переизлучения, путем анализа значений коэффициента усиления. Электронное приборостроение, №2, Изд. Новое знание, Казань, 2008 г.

7. Веденькин Д.А., Бармин С.В. Антенны с сфокусированной апертурой для средств связи с воздушными объектами. Тезисы к XII Туполевским чтениям, 2004 г.

8. Веденькин Д.А. Влияние изменения частоты связи группы БЛА на форму и размеры области фокусировки, XVI Туполевские чтения, труды конференции, том 3, 2008г.

9. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Случайные некогерентные сфокусированные антенные решетки и варианты их применения, Сборник трудов конференции "Радиолокация, навигация и связь -2011", 2011 г.

10. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства когерентных антенных решеток сфокусированных в ближней зоне, Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2011, Казань, 2011г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная
Печ.л. 1,0. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 1,0.
Тираж 100. Заказ А33

Типография КНИТУ-КАИ. 420111, Казань, К. Маркса, 10

10^2